

Efektivitas PGPR dan Nanosilika terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai Varietas Anjasmoro di Tanah Regosol

Arif Umami^{1*}, Risma Wiharyanti²

¹Program Studi Agroteknologi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

²Program Studi Biologi, Universitas Negeri Yogyakarta

* arif.umami@upnyk.ac.id

Abstrak

Produksi kedelai di Indonesia saat ini masih belum mencukupi kebutuhan nasional. Namun, terdapat potensi untuk meningkatkan produksi dengan memanfaatkan lahan sub-optimal seperti tanah Regosol. Tanah Regosol memiliki karakteristik didominasi oleh pasir, kesuburan dan daya pegang air yang rendah yang menyebabkan tanaman mengalami cekaman kekeringan. Untuk meningkatkan produktivitas kedelai pada kondisi tersebut, diperlukan inovasi teknologi, seperti penggunaan pupuk hayati dan nanoteknologi. Varietas kedelai Anjasmoro diketahui cukup sensitif terhadap cekaman kekeringan. Pemupukan *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dan nanosilika diharapkan dapat meningkatkan penyerapan hara, merangsang produksi hormon pemacu tumbuh, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai varietas Anjasmoro, terhadap pemupukan PGPR dan nanosilika. Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial, meliputi konsentrasi nanosilika (0 ppm, 100 ppm, dan 200 ppm) dan konsentrasi PGPR (0%, 5%, 10%, dan 15%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan PGPR dan nanosilika meningkatkan ketahanan tanaman kedelai terhadap cekaman kekeringan. Perlakuan terbaik dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai varietas Anjasmoro di tanah regosol adalah pemberian PGPR 10% + nanosilika 200 ppm. Perlakuan ini memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah polong, berat polong, berat 100 biji, berat basah tajuk, berat kering tajuk, berat basah akar serta kandungan klorofil. Sementara itu perlakuan PGPR 5% + nanosilika 200 ppm menghasilkan kualitas biji terbaik.

Kata kunci: Anjasmoro, kedelai, PGPR, nanosilika, regosol

Abstract

Soybean production in Indonesia currently does not meet national demand. However, there is potential to increase production by utilizing sub-optimal lands, such as Regosol soils. Regosol soils are characterized by a high sand content, low fertility, and poor water-holding capacity, which exposes plants to drought stress. To enhance soybean productivity under such conditions, technological innovations are needed, including the use of biofertilizers and nanotechnology. The Anjasmoro soybean variety is known to be relatively sensitive to drought stress. The

application of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and nanosilica is expected to improve nutrient uptake, stimulate the production of growth-promoting hormones, and enhance plant tolerance to drought stress. This study aimed to evaluate the growth and yield of the Anjasmoro soybean variety in response to PGPR and nanosilica fertilization. A factorial Completely Randomized Design (CRD) was employed, consisting of nanosilica concentrations (0, 100, and 200 ppm) and PGPR concentrations (0, 5, 10, and 15%). The results indicated that PGPR and nanosilica fertilization improved soybean tolerance to drought stress. The most effective treatment for enhancing the growth and yield of the Anjasmoro soybean variety on Regosol soil was the application of 10% PGPR combined with 200 ppm nanosilica. This treatment significantly increased pod number, pod weight, 100-seed weight, fresh shoot weight, dry shoot weight, fresh root weight, and chlorophyll content. Additionally, the application of 5% PGPR combined with 200 ppm nanosilica resulted in the best seed quality.

Keywords: Anjasmoro, PGPR, regosol, soybean, nanosilica

Pendahuluan

Jumlah penduduk Indonesia selalu mengalami kenaikan tiap tahun tercatat 275.7 juta jiwa di tahun 2022, meningkat menjadi 278.7 juta jiwa di tahun 2023 dan menjadi 281.6 juta jiwa pada tahun 2024, dengan pertambahan rata-rata 3 juta jiwa per tahun (BPS, 2025). Peningkatan yang signifikan ini perlu didukung oleh ketersediaan pangan yang memadai. Menurut data Neraca Pangan Nasional, total produksi kedelai dalam negeri pada tahun 2022 hanya mencapai 301 ribu ton, sementara kebutuhan nasional mencapai sekitar 2.8 juta ton (BPN, 2025). Dengan demikian, terdapat defisit sekitar 2.5 juta ton yang masih harus dipenuhi melalui impor. Produksi pertanian yang hanya berasal dari lahan subur saat ini tidak mampu mencukupi kebutuhan pangan nasional yang terus meningkat. Oleh karena itu, salah satu solusi yang dapat ditempuh yaitu dengan memperluas areal pertanian ke lahan sub optimal, khususnya lahan kering.

Lahan kering umumnya diartikan sebagai wilayah yang memiliki tingkat evapotranspirasi tahunan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan

jumlah curah hujan tahunannya. Secara alami, lahan kering tidak mengalami genangan air dan kondisi tanahnya hampir selalu tidak jenuh air sepanjang tahun, dengan tingkat kelembapan tanah yang umumnya berada di bawah kapasitas lapang (Mulyani dan Sarwani, 2013; Huang *et al.*, 2017). Luas total lahan kering Indonesia sekitar 122.1 juta ha, dengan 108.8 juta ha diantaranya termasuk lahan kering masam dan 13.3 juta ha merupakan lahan kering iklim kering (Mulyani *et al.*, 2014). Dari jumlah tersebut, sekitar 55.8 juta ha lahan masih sesuai untuk digunakan dalam usaha pertanian baik tanaman pangan dan perkebunan, sedangkan sebanyak 47 juta ha termasuk lahan yang tidak sesuai secara kimia-fisik, dengan faktor utama berupa kesuburan tanah rendah, lereng curam (>40%), solum tanah dangkal, serta berbatu di bagian permukaan tanah (Mulyani & Sarwani, 2013). Jenis tanah dengan tekstur pasir seperti regosol merupakan salah satu jenis tanah pada lahan kering yang mudah tererosi dan terdistribusi oleh udara. Tanah ini umumnya kurang subur karena memiliki retensi air yang rendah, tekstur yang kasar, serta kandungan bahan organik dan unsur hara yang rendah (Azmi *et al.*, 2015; Hua *et al.*, 2015). Tanaman yang ditanam pada tanah regosol umumnya rentan mengalami cekaman kekeringan dan unsur hara sehingga diperlukan inovasi teknologi untuk memperbaiki produktivitas tanah regosol, yaitu melalui pemanfaatan teknologi nano dan pemupukan hayati.

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) merupakan kelompok bakteri yang menguntungkan dan hidup di sekitar area perakaran tanaman. Bakteri ini mengkolonisasi lapisan tipis tanah, sekitar 1-2 mm di zona rizosfer (Utami *et al.*, 2018). Pengaruh langsung dari PGPR berkaitan dengan kemampuannya dalam menyediakan, memobilisasi, atau mempermudah penyerapan berbagai unsur hara di dalam tanah, serta dalam mensintesis dan mengatur kadar fitohormon yang mendukung pertumbuhan tanaman. Pengaruh tidak langsung PGPR melibatkan kemampuannya dalam menghambat aktivitas patogen, melalui produksi berbagai senyawa atau metabolit seperti antibiotik dan siderofor (Ahmad & Kibret, 2014). PGPR juga berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi kekeringan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zahedi & Abbasi (2015), PGPR dapat menekan produksi asam absisat dan meningkatkan produksi fitohormon auksin, giberelin dan sitokinin. Hal ini akan menstimulasi pertumbuhan lebih baik dan ketahanannya terhadap kekeringan. Ketahanan tersebut ditandai dengan menurunnya kandungan senyawa poliamina pada tanaman kedelai yang tumbuh dalam kondisi kering.

Silika merupakan unsur hara terbesar kedua setelah oksigen yang tersedia di kerak bumi. Meskipun keberadaan silika sangat melimpah,

kegiatan pertanian serta pelapukan tanah mengakibatkan kandungan silika dalam tanah menurun. Silika juga memiliki sifat yang sulit larut dalam air (Santi *et al.*, 2018; Umiatun *et al.*, 2017). Penelitian penggunaan silika menunjukkan hasil yang baik terhadap peningkatan aktivitas fotosintesis dan pertumbuhan tanaman, serta proteksi tanaman terhadap cekaman baik cekaman biotik (serangan hama dan penyakit) maupun abiotik (kekeringan, salinitas, alkalinitas, dan cuaca ekstrem) (Dewi *et al.*, 2014; Harjanti *et al.*, 2014; Ikhsanti *et al.*, 2018; Santi *et al.*, 2018). Kemajuan rekayasa ilmu bahan, dimana material bulk (ukuran alamiah) diubah menjadi material nano, mengakibatkan kemunculan sifat baru yang lebih unggul yang tidak dimiliki oleh material bulk (Ariningsih, 2016). Salah satunya adalah rasio permukaan terhadap volume yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan kereaktifan dan aktifitas biokimia (Ali *et al.*, 2016). Sifat tersebut membawa manfaat besar terhadap sistem pemupukan, dimana pupuk dapat lebih efektif dan efisien untuk dapat diserap oleh tanaman. Aplikasi nanosilika pada kedelai telah diketahui berperan dalam peningkatan jumlah daun, jumlah cabang, dan berat kering biji (Suciati *et al.*, 2018). Nanosilika diketahui meningkatkan kinerja stomata, yang sangat penting untuk regulasi air dan fotosintesis, sehingga berdampak positif pada hasil kedelai (Suryanti & Umami, 2020). Nanosilika juga dapat menyebabkan peningkatan yang signifikan dalam nodulasi dan panjang akar, yang sangat penting untuk penyerapan nutrisi dan kesehatan tanaman secara keseluruhan (Shamshiripour *et al.*, 2022).

Meskipun keduanya memiliki keunggulan, efek sinergis keduanya bila digabungkan belum dikaji mendalam terutama pada kedelai varietas Anjasmoro yang di tanam pada tanah regosol dengan kondisi cekaman kekeringan. Kultivar yang berbeda dapat merespon secara beragam terhadap pemupukan PGPR dan nanosilika. Pemupukan yang berlebihan juga dapat menyebabkan berkurangnya pengembalian atau efek negatif pada pertumbuhan (Coman *et al.*, 2019). Seperti halnya pada kultivar Anjasmoro yang merupakan kultivar yang tidak tahan terhadap cekaman kekeringan (Suryanti *et al.*, 2015). Oleh karena itu penelitian ini dirasa penting untuk dilakukan dalam mengintegrasikan keunggulan PGPR dan nanosilika sehingga diharapkan mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai serta tahan terhadap kondisi cekaman kekeringan.

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan adalah kedelai varietas Anjasmoro. Pupuk PGPR berbahan baku akar *Bambusa* sp dan *Mimosa pudica*. Penelitian dilaksanakan di dalam *greenhouse* di Kelurahan Maguwoharjo, Depok, Sleman (118 mdpl). Benih

kedelai disemai dalam media tanah pasir regosol di *polybag*. Penyiraman ke semua tanaman dilakukan seminggu sekali sampai kapasitas lapang untuk menciptakan kondisi cekaman kekeringan. Eksperimen lapangan dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial, yang terdiri dari dua faktor dengan tiga ulangan. Faktor pertama merupakan konsentrasi nanosilika, yang terdiri dari 0 (Tanpa nanosilika), 100, dan 200 ppm. Faktor kedua merupakan konsentrasi PGPR, yang terdiri dari 0% (tanpa PGPR), 5%, 10%, dan 15%. Kombinasi dari kedua faktor tersebut menghasilkan 12 perlakuan kombinasi yang terdiri dari PGPR 0% + nanosilika 0 ppm (kontrol), PGPR 0% + nanosilika 100 ppm, PGPR 0% + nanosilika 200 ppm, PGPR 5% + nanosilika 0 ppm, PGPR 5% + nanosilika 100 ppm, PGPR 5% + nanosilika 200 ppm, PGPR 10% + nanosilika 0 ppm, PGPR 10% + nanosilika 100 ppm, PGPR 10% + nanosilika 200 ppm, PGPR 15% + nanosilika 0 ppm, PGPR 15% + nanosilika 100 ppm dan PGPR 15% + nanosilika 200 ppm. Berdasarkan ulangan dan perlakuan yang digunakan maka total unit dalam penelitian ini yaitu 36 unit dengan masing-masing unit sejumlah 6 tanaman sehingga total tanaman sejumlah 216 tanaman. Pengaplikasian PGPR dan nanosilika dilakukan dengan metode kocor dengan dosis berturut turut 100 ml dan 50 ml yang dilakukan setiap 14 hari sekali yang dimulai pada 14 HST (Hari Setelah Tanam). Konsentrasi PGPR dan nanosilika yang diterapkan ke tanaman sesuai dengan perlakuan. Tanaman yang mendapat perlakuan 0 % PGPR dan 0 ppm nanosilika disiram menggunakan air. Untuk menciptakan kondisi cekaman kekeringan, penyiraman dilakukan setiap 7 hari sekali. Pupuk yang digunakan adalah NPK 16-16-16 sebanyak 300kg/ha. Saat penelitian tidak terdapat serangan penyakit. Serangan hama belalang dan ulat dikendalikan menggunakan insektisida berbahan aktif deltametrin.

Variabel Penelitian

Penelitian ini mengukur sejumlah variabel, yang meliputi analisis gugus fungsional pada nanosilika, total bakteri, total bakteri pelarut fosfat, total bakteri penambat nitrogen, berat kering tajuk, berat basah tajuk, berat kering akar, berat basah akar, jumlah daun, kadar klorofil (a, b dan total), berat polong, jumlah polong, dan berat 100 biji. Pengukuran kadar klorofil total, klorofil a, klorofil b, jumlah daun, serta berat kering dan basah tajuk maupun akar dilakukan pada 56 HST setelah penanaman. Sementara itu parameter hasil produksi termasuk analisa proksimat diamati saat setelah panen yaitu pada 84 HST.

Uji Bakteri, Karakterisasi Nanosilika dan Analisis Proksimat Biji

Jumlah total bakteri PGPR didapatkan dengan menggunakan Metode *Total Plate Count* (TPC) dengan media *Nutrient Agar*. Jumlah bakteri pelarut fosfat dihitung dan ditumbuhkan menggunakan media pikovskaya, kemudian bakteri penambat nitrogen ditumbuhkan di medium *Yeast Mannitol Extract Agar* (YMEA). Analisis gugus fungsional pada nanosilika dilakukan menggunakan *Fourier-Transform Infrared Spectrometer* (FTIR). Pengujian menghasilkan spektrum % transmitansi pada berbagai panjang gelombang. Biji kedelai yang dihasilkan saat penelitian diuji kandungan gula total, kadar air, protein total dan lemak.

Kandungan Klorofil

Kandungan klorofil diamati pada usia 56 HST dengan menggunakan metode destruksi (Arnon, 1949). Ekstrak klorofil didapatkan dengan menghaluskan 0,1 gram daun segar kedelai dan dilarutkan menggunakan aseton 80%. Ekstrak kemudian diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 663 dan 645 nm. Hasil absorbansi kemudian dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Klorofil A} = (12.21 (A_{663}) - 2.81 (A_{646})) \times (\text{volume sampel})/1000 \times \text{berat sampel (g)}$$

$$\text{Klorofil B} = (20.13 (A_{645}) - 5.03 (A_{663})) \times (\text{volume sampel})/1000 \times \text{berat sampel (g)}$$

$$\text{Klorofil total} = 20.2 \times A_{645} + 8.02 \times A_{663}$$

Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (Anova) untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap variabel yang diuji. Hasil yang menunjukkan pengaruh dilanjutkan menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada jenjang nyata 5% dengan tujuan untuk mengetahui beda nyata antar perlakuan. Analisis data menggunakan software STAR (*Statistical Tool for Agricultural Research*).

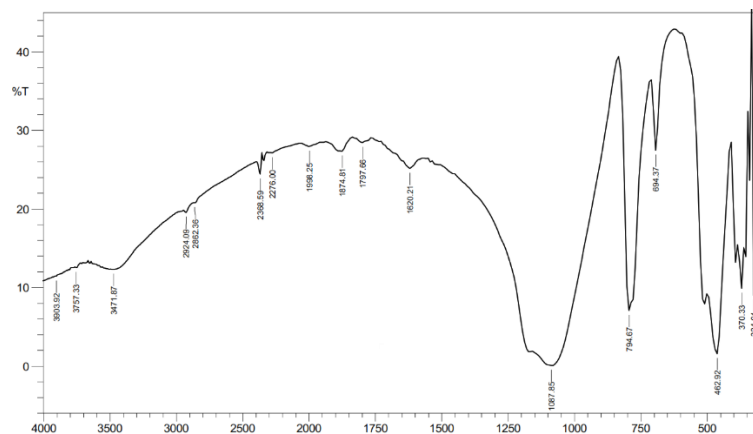
Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Nanosilika dan Uji Total Mikroba PGPR

Spektrum FTIR nanosilika yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Spektrum ini memberikan informasi mengenai gugus fungsi kimia yang terdapat dalam struktur bahan berdasarkan serapan gelombang inframerah pada rentang panjang gelombang tertentu (Alauddin *et al.*, 2021). Pita serapan lebar yang muncul pada daerah sekitar 3430 cm⁻¹ hingga 3757 cm⁻¹ diasosiasikan dengan vibrasi regangan (*stretching vibration*) gugus -OH, yang berasal dari air teradsorpsi (*physically*

adsorbed water) atau gugus hidroksil permukaan pada silika. Kehadiran gugus hidroksil ini penting karena berkontribusi terhadap sifat hidrofilik nanosilika dan berpotensi meningkatkan interaksinya dengan sistem biologis atau larutan pupuk. Pita serapan pada 2924 cm^{-1} dan 2852 cm^{-1} menunjukkan vibrasi regangan C–H dari senyawa organik. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun nanosilika sudah terbentuk, masih terdapat jejak organik dalam material tersebut. Puncak yang muncul di daerah $1630\text{--}1640\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi lentur (*bending*) dari molekul H–O–H, yang juga berhubungan dengan keberadaan air teradsorpsi pada permukaan partikel silika. Puncak paling dominan dan tajam terletak pada daerah $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$, terutama pada 1087.85 cm^{-1} , yang merupakan karakteristik khas vibrasi regangan asimetris dari ikatan Si–O–Si (siloksan).

Pita ini menegaskan keberadaan struktur rangka silika yang telah terbentuk secara baik. Di samping itu, serapan pada 794.97 cm^{-1} dan 694.37 cm^{-1} masing-masing mengindikasikan vibrasi regangan simetris Si–O–Si dan *bending* dari ikatan Si–O. Puncak-puncak di bawah 500 cm^{-1} , seperti pada 462.92 cm^{-1} dan 370.03 cm^{-1} , berkaitan dengan mode vibrasi deformasi atau bending dari struktur Si–O yang lebih kompleks. Kehadiran gugus –OH juga menunjukkan bahwa nanosilika ini memiliki potensi untuk berinteraksi dengan unsur hara atau molekul biologis. Sementara itu, pada pengujian total mikroba pada PGPR dihasilkan total mikroba $1,3 \times 10^8$ CFU/ml, bakteri penambat nitrogen sebanyak $5,6 \times 10^7$ CFU/ml dan bakteri pelarut fosfat sejumlah $5,1 \times 10^7$ CFU/ml.



Gambar 1. Spektrum FTIR Nanosilika

Tabel 1. Interaksi perlakuan PGPR dan Nanosilika terhadap Berat Basah Akar, Kadar Klorofil b dan Kadar Klorofil Total

Perlakuan	Berat basah akar (g)	Klorofil b (mg/g)	Klorofil total (mg/g)
PGPR 0% + nanosilika 0 ppm (kontrol)	2.11d	1.98abcd	3.98abcd
PGPR 0% + nanosilika 100 ppm	4.58c	1.66cde	3.67cde
PGPR 0% + nanosilika 200 ppm	4.86c	1.23e	3.15e
PGPR 5% + nanosilika 0 ppm	18.09a	1.41de	3.42de
PGPR 5% + nanosilika 100 ppm	6.05bc	1.62cde	3.61cde
PGPR 5% + nanosilika 200 ppm	7.78bc	2.16abc	4.06abc
PGPR 10% + nanosilika 0 ppm	8.30bc	2.36ab	4.33ab
PGPR 10% + nanosilika 100 ppm	7.93bc	1.81bcde	3.78bcd
PGPR 10% + nanosilika 200 ppm	4.93c	1.96abcd	3.93abcd
PGPR 15% + nanosilika 0 ppm	10.21ab	1.95abcd	3.95abcd
PGPR 15% + nanosilika 100 ppm	9.40ab	2.46a	4.43a
PGPR 15% + nanosilika 200 ppm	5.52bc	2.31ab	4.29ab

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang nyata pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$.

Tabel 2. Pengaruh PGPR terhadap Berat Kering Akar, Berat Kering Tajuk, Berat Basah Tajuk (g), Jumlah Daun, dan Kandungan Klorofil a

Perlakuan	Berat kering akar (g)	Berat kering tajuk (g)	Berat basah tajuk (g)	Jumlah daun (helai)	Klorofil a (mg/g)
PGPR 0% (kontrol)	0.60c	1.43b	4.83b	35.67a	1.99a
PGPR 5%	1.84a	2.46a	7.71a	53.89a	1.99a
PGPR 10%	1.23b	2.41a	8.66a	47.06a	1.99a
PGPR 15%	1.22b	1.51b	5.09b	48.44a	1.98a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang nyata pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$.

Tabel 3. Pengaruh PGPR dan Pupuk Nanosilika terhadap Jumlah Polong, Berat Polong dan Berat 100 Biji

Perlakuan	Jumlah Polong	Berat polong (g)	Berat 100 biji (g)
PGPR 0% + nanosilika 0 ppm (kontrol)	8.67cd	3.45e	11.59bc
PGPR 0% + nanosilika 100 ppm	10.67cd	3.31e	12.47bc
PGPR 0% + nanosilika 200 ppm	7.67cd	2.56e	10.61c
PGPR 5% + nanosilika 0 ppm	25.67ab	20.28ab	12.28bc
PGPR 5% + nanosilika 100 ppm	10.67cd	17.57ab	12.64bc
PGPR 5% + nanosilika 200 ppm	23.67ab	13.31abc	12.84bc
PGPR 10% + nanosilika 0 ppm	30.00ab	24.35a	13.38bc
PGPR 10% + nanosilika 100 ppm	13.00c	5.73de	18.13a
PGPR 10% + nanosilika 200 ppm	40.33a	24.68a	12.00bc
PGPR 15% + nanosilika 0 ppm	8.00cd	9.66bcd	15.02ab
PGPR 15% + nanosilika 100 ppm	7.00d	5.82cde	13.38bc
PGPR 15% + nanosilika 200 ppm	21.33b	17.87ab	14.94ab

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf signifikansi $\alpha 0,05$

Tabel 4. Analisis Proksimat Biji Kedelai Anjasmoro

Perlakuan	Analisis Proksimat (%)			
	Kadar Air	Protein	Lemak	Gula Total
PGPR 0% + nanosilika 0 ppm	10.15	29.25	19.01	14.51
PGPR 0% + nanosilika 100 ppm	10.31	28.91	17.18	10.36
PGPR 0% + nanosilika 200 ppm	10.26	26.95	18.27	11.18
PGPR 5% + nanosilika 0 ppm	10.04	31.37	17.49	9.53
PGPR 5% + nanosilika 100 ppm	10.12	31.77	18.48	8.43
PGPR 5% + nanosilika 200 ppm	10.11	33.16	17.19	9.72
PGPR 10% + nanosilika 0 ppm	9.96	24.96	18.62	8.85
PGPR 10% + nanosilika 100 ppm	9.74	28.47	18.55	9.99
PGPR 10% + nanosilika 200 ppm	9.97	26.92	18.08	9.42
PGPR 15% + nanosilika 0 ppm	10.04	32.27	19.00	8.67
PGPR 15% + nanosilika 100 ppm	10.04	30.55	18.59	9.09
PGPR 15% + nanosilika 200 ppm	9.91	28.50	19.25	8.01

Pengaruh pemupukan PGPR dan Nanosilika terhadap Pertumbuhan Vegetatif Kedelai Anjasmoro

Pemberian PGPR memiliki pengaruh dominan dalam meningkatkan berat basah akar dan kadar klorofil. Namun, efektivitasnya semakin meningkat

ketika dikombinasikan dengan nanosilika dalam konsentrasi optimal (100–200 ppm). Hasil analisis (Tabel 1) menunjukkan bahwa perlakuan PGPR dan nanosilika memberikan pengaruh nyata terhadap berat basah akar kedelai. Perlakuan PGPR 5% + nanosilika 0 ppm menghasilkan berat basah akar

tertinggi yaitu 18.09 g namun tidak berbeda nyata dengan Perlakuan PGPR 15% + nanosilika 0 ppm dan Perlakuan PGPR 15% + nanosilika 100 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa pada dosis PGPR 5% tanpa nanosilika, aktivitas mikroorganisme dalam memacu pertumbuhan sistem perakaran berada pada kondisi optimum. Hal ini dapat disebabkan oleh peningkatan ketersediaan hara dan hormon tumbuh yang diproduksi oleh PGPR, seperti auksin dan sitokinin, yang merangsang pembentukan dan pemanjangan akar. Sebaliknya, berat basah akar terendah tercatat pada perlakuan kontrol atau PGPR 0% + nanosilika 0 ppm yaitu 2.11 g. Hal ini menunjukkan bahwa baik PGPR maupun nanosilika diperlukan untuk meningkatkan pertumbuhan akar tanaman di tanah regosol.

Sementara itu, kadar klorofil b (Tabel 1) tertinggi dicapai pada perlakuan PGPR 15% + nanosilika 100 ppm yaitu 2.46 mg/g. Meskipun tidak berbeda nyata dengan beberapa perlakuan lain, hal ini menunjukkan bahwa kombinasi optimal antara konsentrasi tinggi PGPR dan dosis sedang nanosilika mampu meningkatkan biosintesis pigmen fotosintetik. Nanosilika diduga membantu memperkuat struktur sel daun dan efisiensi penyerapan cahaya, sementara PGPR meningkatkan serapan nitrogen dan magnesium yang penting dalam sintesis klorofil (Karunakaran *et al.*, 2013). Sebaliknya, kadar klorofil b terendah cenderung pada perlakuan dengan konsentrasi PGPR rendah (0 dan 5%). Hal ini menunjukkan bahwa pemupukan nanosilika tanpa PGPR, akan memberikan hasil yang kurang efektif dalam pembentukan klorofil (Vishwakarma *et al.*, 2020).

Klorofil total (Tabel 1) terendah ditunjukkan pada perlakuan kombinasi nanosilika dengan tanpa PGPR dan PGPR 5% (kecuali PGPR 5% + nanosilika 200 ppm dan PGPR 0% + nanosilika 0 ppm). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi PGPR dan nanosilika, terutama pada konsentrasi menengah hingga tinggi, memberikan sinergi dalam meningkatkan kapasitas fotosintesis tanaman. Hal ini konsisten dengan hasil kadar klorofil b dan memperkuat dugaan bahwa nanosilika dalam dosis tinggi tanpa pendamping PGPR tidak cukup efektif dalam menunjang proses metabolisme fotosintetik. Berbeda pada parameter kandungan klorofil a (Tabel 2), seluruh perlakuan PGPR tidak menunjukkan perbedaan nyata, dengan nilai berkisar antara 1.98 hingga 1.99 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa PGPR tidak secara langsung mempengaruhi sintesis klorofil a dalam daun kedelai, atau pengaruhnya seragam di seluruh perlakuan. PGPR meningkatkan ketersediaan nutrisi dan produksi hormon tumbuh, sementara nanosilika memperkuat struktur jaringan tanaman dan meningkatkan efisiensi fotosintesis. Kombinasi PGPR dan silika sangat potensial dalam memperbaiki pertumbuhan kedelai di lahan regosol yang memiliki

keterbatasan kesuburan dan struktur tanah (Vishwakarma *et al.*, 2020).

Pemupukan PGPR memberikan pengaruh nyata terhadap parameter pertumbuhan vegetatif tanaman kedelai varietas Anjasmoro, terutama pada berat kering akar, berat kering tajuk dan berat basah tajuk yang ditunjukkan pada Tabel 2. Pemberian PGPR terutama pada dosis 5% secara umum terbukti efektif dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif kedelai, yang ditunjukkan oleh peningkatan biomassa akar dan tajuk. Berat kering akar menunjukkan perbedaan yang nyata pada perlakuan PGPR 5% yaitu 1.84 g dibandingkan perlakuan lain. Hasil ini menunjukkan bahwa mikroba PGPR dapat merangsang pertumbuhan sistem perakaran dengan lebih optimal, baik melalui produksi hormon pertumbuhan (seperti auksin), pelarutan fosfat, maupun fiksasi nitrogen.

Pada parameter berat kering tajuk, perlakuan PGPR 5% dan 10% memberikan hasil tertinggi yang tidak berbeda nyata satu sama lain masing-masing 2.46 g dan 2.41 g, namun keduanya berbeda nyata dibandingkan kontrol yaitu 1.43 g. Hasil ini menunjukkan bahwa akumulasi biomassa tajuk juga meningkat akibat perbaikan status nutrisi dan fisiologis tanaman yang dipengaruhi oleh aktivitas mikroba PGPR. Berat basah tajuk dengan PGPR 10% memberikan hasil tertinggi yaitu 8.66 g, diikuti PGPR 5% sebesar 7.71 g dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan kontrol dan PGPR 15%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa PGPR tidak hanya menunjukkan hasil fotosintat berupa biomassa kering, tetapi juga meningkatkan kapasitas jaringan tanaman untuk menyimpan air, yang esensial dalam adaptasi terhadap kondisi tanah regosol yang cenderung kering dan miskin hara. Hasil jumlah daun dalam penelitian ini menunjukkan bahwa semua perlakuan memberikan pengaruh yang sama. Hasil yang berbeda pada perlakuan nanosilika dimana perlakuan tersebut tidak memberikan pengaruh yang nyata. Adapun perlakuan tersebut menghasilkan berat kering akar sebesar 1.05 – 1.39 g/tanaman, berat kering tajuk sebesar 1,79 – 2,59 g/tanaman, berat basah tajuk sebesar 6.48 – 8.29g/tanaman, jumlah daun sebesar 3 – 49 helai/tanaman dan Klorofil a sebesar 1.9667 mg/g – 1.9973 mg/g. PGPR memiliki cara kerja langsung dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, antara lain pengikatan nitrogen atmosferik yang meningkatkan ketersediaan nitrogen bagi tanaman; produksi siderofor yang mengkhelasi ion besi (Fe) sehingga meningkatkan ketersediaannya bagi sistem perakaran; memperbaiki penyerapan unsur hara melalui pelarutan fosfor; serta sintesis fitohormon (Cahyani *et al.*, 2017; Kafrawi *et al.*, 2015).

Pengaruh Pemupukan PGPR dan Nanosilika terhadap Produksi Kedelai Anjasmoro

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan PGPR dan pupuk nanosilika memberikan pengaruh yang nyata terhadap jumlah polong, berat polong, dan berat 100 biji kedelai varietas Anjasmoro yang ditanam di tanah regosol (Tabel 3). Perlakuan PGPR 10% + nanosilika 200 ppm menghasilkan jumlah polong tertinggi yaitu 40.33 polong, yang berbeda nyata dengan sebagian besar perlakuan lain (huruf selain "a"). Hasil ini menunjukkan bahwa pemberian PGPR dalam konsentrasi rendah hingga menengah disertai dengan nanosilika cenderung mampu meningkatkan pembentukan polong secara optimal. Sebaliknya, jumlah polong terendah diperoleh pada perlakuan PGPR 15% + nanosilika 100 ppm sebesar 7.67 polong, yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol.

Parameter berat polong menunjukkan pola yang serupa dengan jumlah polong. Perlakuan PGPR 10% + nanosilika 200 ppm memberikan hasil berat polong tertinggi yaitu 24.68 g yang berbeda nyata dengan kelompok perlakuan tanpa PGPR (huruf selain "a"). Perlakuan PGPR 10% + nanosilika 0 ppm juga menunjukkan hasil yang tinggi yaitu 24.35 g. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi PGPR saja dalam dosis tinggi sudah cukup efektif, namun efeknya dapat ditingkatkan dengan penambahan nanosilika. Berat polong terendah dicatat pada perlakuan tanpa PGPR yang menegaskan kembali bahwa nanosilika tanpa dukungan PGPR tidak cukup mampu meningkatkan hasil secara signifikan.

Pada parameter berat 100 biji, perlakuan PGPR 10% + nanosilika 100 ppm menghasilkan berat tertinggi yaitu 18.13 g yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan PGPR 15% + nanosilika 0 ppm dan PGPR 15% + nanosilika 200 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi PGPR menengah – tinggi dapat meningkatkan pengisian biji secara maksimal. Sementara itu, perlakuan dengan konsentrasi PGPR rendah menghasilkan berat 100 biji yang cenderung rendah. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi nanosilika dalam konsentrasi tinggi tanpa dukungan mikroba justru tidak efektif. Kombinasi PGPR dan nanosilika berpengaruh positif terhadap hasil komponen kedelai, terutama ketika PGPR diberikan dalam konsentrasi menengah (10%) dan nanosilika pada kisaran 100–200 ppm. Sinergi antara mikroba perangsang tumbuh dan unsur silika dalam bentuk nano tampaknya memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi fisiologis tanaman, termasuk pembentukan polong, bobot polong, dan bobot biji. Unsur hara Silika berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap ketidakseimbangan unsur hara, Silika dapat meningkatkan ketersediaan P dalam tanah (Ikhsanti

et al., 2018; Yuniarti *et al.*, 2019). Silika juga dapat menstimulasi fotosintesis dan translokasi karbondioksida (Fitriani & Haryanti, 2016). Pemberian silika dalam bentuk nanopartikel memungkinkan tanaman untuk menyerap silika dengan lebih mudah pada lahan kering. Goswami *et al.*, (2022) menyebutkan bahwa nanopartikel silika memiliki sifat fisiologis yang unik, seperti luas permukaan yang besar, agregasi, reaktivitas, kemampuan penetrasi, ukuran, dan struktur, yang memungkinkannya menembus tanaman dan mengatur proses metabolismenya. Silika termasuk unsur hara mikro yang artinya dibutuhkan dalam jumlah sedikit. Apabila dosis atau unsur hara mikro yang diberikan terlalu tinggi, maka akan muncul penghambatan pertumbuhan hingga gejala keracunan pada tanaman. Sebaliknya, pemupukan PGPR dan Nanosilika dengan konsentrasi yang tepat pada varietas Anjasmoro dapat meningkatkan pembukaan stomata sehingga meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan (Suryanti & Umami, 2020).

Kandungan Proksimat Biji kedelai Anjasmoro

Hasil proksimat biji kedelai Anjasmoro ditunjukkan pada Tabel 4. yang meliputi kadar air, protein, lemak, dan gula total. Perlakuan PGPR 5% + nanosilika 200 ppm menghasilkan kadar protein tertinggi sebesar 33.16%, menunjukkan bahwa kombinasi ini mampu meningkatkan sintesis protein dalam biji kedelai secara optimal. Sementara itu, kadar lemak relatif stabil di kisaran 17–19%, dengan nilai tertinggi ditemukan pada perlakuan PGPR 15% + nanosilika 200 ppm (19.25%), meskipun kadar proteinnya tidak setinggi perlakuan PGPR 5%. Kadar gula total tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol (PGPR 0% + nanosilika 0 ppm) yaitu sebesar 14.51%. Hasil Gula total (Tabel 4) pada tanaman kedelai dengan perlakuan tanpa PGPR dan nanosilika menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibanding dengan perlakuan lain yaitu 14.51%. Kandungan gula menurun seiring peningkatan dosis PGPR dan nanosilika akibat konversi karbohidrat sederhana menjadi senyawa struktural dan protein. Hal ini juga ditemukan pada penelitian Bellaloui *et al.*, (2012) bahwa pada tanaman kedelai yang mendapatkan perlakuan stress air menghasilkan total gula yang lebih tinggi dibanding yang mendapatkan irigasi terutama pada komponen gula *stachyose* dan *raffinose*. Ketika tanaman menghadapi stres air, seperti kekeringan, mereka dapat meningkatkan produksi gula galaktosida seperti *stachyose* dan *raffinose*. Hal ini terjadi sebagai bagian dari upaya tanaman untuk mengatur tekanan osmotik dan menjaga keseimbangan air dalam sel sehingga dapat bertahan saat mengalami kekeringan. Kadar air berada pada rentang 9.74–10.31% dan tidak menunjukkan perbedaan mencolok antar perlakuan. Secara umum, PGPR 5% + nanosilika 200 ppm dapat

dianggap sebagai kombinasi paling efektif untuk meningkatkan kandungan protein biji, yang merupakan salah satu parameter mutu utama kedelai.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa aplikasi kombinasi nanosilika dan PGPR secara signifikan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan pada tanah regosol dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Perlakuan terbaik dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai varietas Anjasmoro di tanah regosol adalah pemberian PGPR 10% + nanosilika 200 ppm. Perlakuan ini memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah polong, berat polong, berat 100 biji, berat basah tajuk, berat kering tajuk, berat basah akar serta kandungan klorofil. Sementara itu perlakuan PGPR 5% + nanosilika 200 ppm menghasilkan kualitas biji terbaik.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula dan seluruh pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and Applications of Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>
- Alauhdin, M., Tirza Eden, W., & Alighiri, D. (2021). Aplikasi Spektroskopi Inframerah untuk Analisis Tanaman dan Obat Herbal. *Inovasi Sains Dan Kesehatan*, 84–118. <https://doi.org/10.15294/v0i0.15>
- Ali, A., Zafar, H., Zia, M., ul Haq, I., Phull, A. R., Ali, J. S., & Hussain, A. (2016). Synthesis, Characterization, Applications, and Challenges of Iron Oxide Nanoparticles. *Nanotechnology, Science and Applications*, 9, 49–67. <https://doi.org/10.2147/NSA.S99986>
- Ariningsih, E. (2016). Prospek Penerapan Teknologi Nano dalam Pertanian dan Pengolahan Pangan di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 34(1), 1. <https://doi.org/10.21082/fae.v34n1.2016.1-20>
- Arnon, D. I. (1949). Copper Enzymes in Isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta *Chlorella vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1–5. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Azmi, A., Yuwono, A. S., Erizal, Kurniawan, A., & Mulyanto, B. (2015). Analysis of Dustfall Generation from Regosol Soil in Java Island, Indonesia. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(18), 8184–8191.
- Bellaloui, N., Mengistu, A., Fisher, D. K., & Abel, C. A. (2012). Soybean Seed Composition Constituents as Affected by Drought and Phomopsis in Phomopsis Susceptible and Resistant Genotypes. *Journal of Crop Improvement*, 26(3), 428–453. <https://doi.org/10.1080/15427528.2011.651774>
- Cahyani, A., Putrayani, M. I., Hasrullah, Ersyan, M., Aulia, T. S., & Jaya, A. M. (2017). Teknologi Formulasi Rhizobakteria Berbasis Bahan Lokal dalam Menunjang Bioindustri Pertanian Berkelanjutan. *Hasanuddin Student Journal*, 1(1), 16–21.
- Coman, V., Oprea, I., Leopold, L. F., Vodnar, D. C., & Coman, C. (2019). Soybean Interaction With Engineered Nanomaterials: A Literature Review of Recent Data. *Nanomaterials*, 9(9), 1–25. <https://doi.org/10.3390/nano9091248>
- Dewi, A. Y., Putra, E. T. S., & Trisnowati, S. (2014). Induksi Ketahanan Kekeringan Delapan Hibrida Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan Silika. 3(3), 63–77.
- Fitriani, H. P., & Haryanti, S. (2016). Pengaruh Penggunaan Pupuk Nanosilika terhadap Pertumbuhan Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*) var. Bulat. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 24(1), 34–41.
- Goswami, P., Mathur, J., & Srivastava, N. (2022). Silica Nanoparticles as Novel Sustainable Approach for Plant Growth and Crop Protection. *Heliyon*, 8(7), e09908. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09908>
- Harjanti, R. A., Tohari, T., & Utami, S. N. H. (2014). Pengaruh Takaran Pupuk Nitrogen dan Silika terhadap Pertumbuhan Awal (*Saccharum officinarum* L.) pada Inceptisol. 3(3), 63–77.
- Hua, K., Zhu, B., & Wang, X. (2015). Soil Organic Carbon Loss from Carbon Dioxide and Methane Emissions, as Well as Runoff and Leaching on A Hillslope of Regosol Soil in A Wheat–Maize Rotation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 103(1), 75–86. <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9722-5>
- Huang, J., Li, Y., Fu, C., Chen, F., Fu, Q., Dai, A., Shinoda, M., Ma, Z., Guo, W., Li, Z., Zhang,

- L., Liu, Y., Yu, H., He, Y., Xie, Y., Guan, X., Ji, M., Lin, L., Wang, S., ... Wang, G. (2017). Dryland Climate Change: Recent Progress and Challenges. *Reviews of Geophysics*, 55(3), 719–778.
<https://doi.org/10.1002/2016RG000550>
- Ikhsanti, A., Kurniasih, B., Indradewa Departemen Budidaya Pertanian, D., Pertanian, F., & Gadjah Mada, U. (2018). Pengaruh Aplikasi Silika terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) pada Kondisi Salin The Effect of Silicate Application on Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) Under Saline Condition. *Vegetalika*, 7(4), 1–11.
- Kafrawi, Kumalawati, Z., & Mulyani, S. (2015). Skrining Isolat Plant Growth Promoting Rhizobacteri (PGPR) dari Pertanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum*) di Gorontalo. *Seminar Nasional Mikrobiologi Kesehatan Dan Lingkungan, 2007*, 132–139.
- Karunakaran, G., Suriyaprabha, R., Manivasakan, P., Yuvakkumar, R., Rajendran, V., Prabu, P., & Kannan, N. (2013). Effect of Nanosilica and Silicon Sources on Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Soil Nutrients and Maize Seed Germination. *IET Nanobiotechnology*, 7(3), 70–77. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2012.0048>
- Mulyani, A., Nursyamsi, D., & Las, I. (2014). Percepatan Pengembangan Pertanian Lahan Kering Iklim Kering di Nusa Tenggara. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 7(4), 187–198.
- Mulyani, A., & Sarwani, M. (2013). Karakteristik dan Potensi Lahan Sub Optimal untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumber Daya Lahan*, 7(1), 47–55.
- Nurchamidah, L. (2017). Pengalih Fungsian Lahan Pertanian ke Non Pertanian di Kabupaten Tegal. *Pengalih Fungsian Lahan Pertanian Ke Non Pertanian Di Kabupaten Tegal*, 4(4), 1–8. <http://dx.doi.org/10.30659/akta.v4i4.2513>
- Santi, L. P., Goenadi, D. H., Barus, J., & Dariah, A. (2018). Pengaruh Bio-Nano Silika terhadap Hasil dan Efisiensi Penggunaan Air Kedelai Hitam di Lahan Kering Masam Effects of Bio-Nano Silica on Yield and Water Use Efficiency of Black Soybean in Acid Dry Land Soil. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 42(1), 43–52.
- Shamshiripour, M., Motesarezadeh, B., Rahmani, H. A., Alikhani, H. A., & Etesami, H. (2022). Optimal Concentrations of Silicon Enhance the Growth of Soybean (*Glycine max* L.) Cultivars by Improving Nodulation, Root System Architecture, and Soil Biological Properties. *Silicon*, 14(10), 5333–5345. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01273-3>
- Suciati, T., Purnomo, D., Sakya, A. T., & Supriyadi. (2018). The Effect of Nano-Silica Fertilizer Concentration and Rice Hull Ash Doses on Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) Growth and Yield. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 129(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/129/1/012009>
- Suryanti, S., Indradewa, D., Sudira, P., & Widada, J. (2015). Kebutuhan Air, Efisiensi Penggunaan Air dan Ketahanan Kekeringan Kultivar Kedelai (Water Use, Water Use Efficiency and Drought Tolerance of Soybean Cultivars). *Jurnal Agritech*, 35(01), 114. <https://doi.org/10.22146/agritech.9426>
- Suryanti, S., & Umami, A. (2020). Stomata dan Trikom Kultivar Kedelai Anjasmoro selama pemupukan Nanosilika dan Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Vegetalika*, 9(1), 343. <https://doi.org/10.22146/veg.48795>
- Umiatun, S., Carmudi, C., & Christiani, C. (2017). Hubungan antara Kandungan Silika dengan Kelimpahan Diatom Benthik di Sepanjang Sungai Pelus Kabupaten Banyumas. *Scripta Biologica*, 4(1), 61. <https://doi.org/10.20884/1.sb.2017.4.1.387>
- Utami, A. P., Agustiyani, D., Handayanto, E., Tanah, J., Pertanian, F., Brawijaya, U., Mikrobiologi, B., Biologi, P., & Cibirong, L. (2018). Pengaruh PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*), Kapur, Dan Kompos Pada Tanaman Kedelai di Ultisol Cibirong, Bogor. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 2549–9793.
- Vishwakarma, K., Singh, V. P., Prasad, S. M., Chauhan, D. K., Tripathi, D. K., & Sharma, S. (2020). Silicon and Plant Growth Promoting Rhizobacteria Differentially Regulate Agnp-Induced Toxicity in Brassica Juncea: Implication of Nitric Oxide. *Journal of Hazardous Materials*, 390(November 2019), 121806. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121806>
- Yuniarti, A., Nurmala, T., Solihin, E., & Syahfitri, N. (2019). Pengaruh Dosis Pupuk Silika Organik terhadap Silika Tanah dan Tanaman, Pertumbuhan dan Hasil Hanjeli. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9),

1689–1699.

Zahedi, H., & Abbasi, S. (2015). Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) And Water Stress on Phytohormones and Polyamines of Soybean. *Indian Journal of Agricultural Research*, 49(5), 427–431. <https://doi.org/10.18805/ijare.v49i5.5805>